

内容提要 冷挤压是机械制造工艺中少无切削加工新工艺之一。采用冷挤压加工金属零件，可以节约材料、提高劳动生产率与降低成本。

本书主要介绍冷挤压工艺的特点、分类及其应用，冷挤压工艺的拟订原则，冷挤压模具的特点，典型冷挤压工艺示例等。

本书可供从事冷挤压加工的工人、技术人员参考。

冷 挤 压 新 工 艺

上海市科学技术交流站 合编
上 海 交 通 大 学

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可登记证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $2^{\frac{5}{16}}$ · 字数 53 千字

1974 年 12 月北京第一版·1974 年 12 月北京第一次印刷

印数 00,001—10,000 · 定价 0.19 元

*

统一书号: 15033 · 4270

目 录

一	冷挤压概念	1
二	目前冷挤压所用的金属材料	5
三	冷挤压的变形程度	9
1	表示冷挤压变形程度的方法	9
2	许用变形程度	11
四	冷挤压压力	14
五	冷挤压的润滑	23
1	纯铝冷挤压的润滑	23
2	硬铝 (LY11、LY12) 冷挤压的润滑	25
3	铜及铜合金 (黄铜、锡磷青铜) 冷挤压的润滑	26
4	碳钢与低合金钢冷挤压的表面处理与润滑	26
5	不锈钢 (1Cr18Ni9Ti) 的表面润滑处理	31
六	冷挤压模具结构	32
1	纯铝反挤压可调整式通用模	34
2	黑色金属反挤压通用挤压模	35
七	冷挤压模具工作部分的设计	38
1	黑色金属反挤压凸模	38
2	有色金属反挤压凸模	39
3	反挤压凸模的纵向稳定性问题	40
4	反挤压凹模	42
5	正挤压凸模	44
6	正挤压凹模	45
八	冷挤压组合凹模的设计	47
1	组合凹模的应用	47
2	凹模结构型式的决定	48

一 冷挤压概念

冷挤压是机械制造工艺中少切削、无切削加工新工艺之一。它是将冷挤压模具装在压力机上，利用压力机简单的往复运动，使金属在模腔内产生塑性变形，从而获得所需要的尺寸、形状及一定性能的机械零件。冷挤压是在室温条件下进行的，不需要对毛坯进行加热。

冷挤压工作可以在冷挤压压力机上进行，也可以在一般的机械压力机（冲床）上进行，也可以在液压机或摩擦压力机上进行，也可以在高速锤上进行。

按照挤压时金属流动的方向和凸模运动方向的关系，冷挤压方法可分为三种：

（1）正挤压 正挤压时，金属的流动方向与凸模的运动方向相同。图 1 是正挤压实心工件的情形，它的加工过程是：先将毛坯放在凹模内，凹模底上有一个大小与所制零件外径相当的孔，然后用凸模去挤压毛坯。在挤压时，由于凸模压力的作用，使金属进入塑性状态，强迫金属从凹模的小孔中流出，从而制成所需要的工件。一般说来，正挤压可以制造各种形状的实心工件（采用实心毛坯），也可以制造各种形状的管子（图 2）和弹壳——采用空心毛坯或杯形毛坯。

（2）反挤压 反挤压时，金属的流动方向与凸模的运动方向相反。图 3 是反挤压空心杯形工件的情形，它的加工过程是：把扁平的毛坯放在凹模底上，凹模与凸模在半径方向上的间隙等于杯形零件的壁厚。当凸模向毛坯施加压力时，金

属便沿凸模与凹模之间的间隙向上流动，从而制成所需要的空心杯形零件。

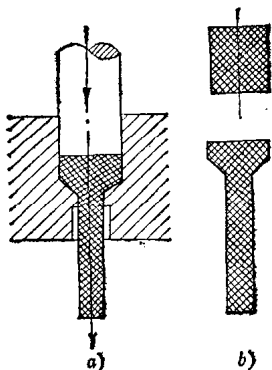


图 1 正挤压实心件

a—挤压示意图；
b—毛坯与挤压零件

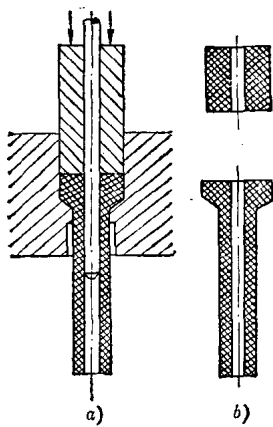


图 2 正挤压空心件

a—挤压示意图；
b—毛坯与挤压零件

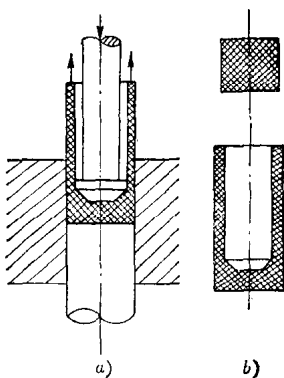


图 3 反挤压

a—挤压示意图；
b—毛坯与挤压零件

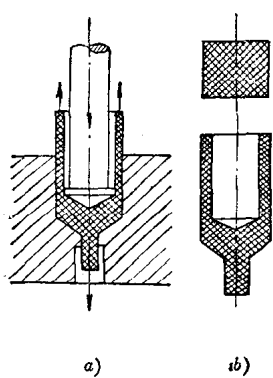


图 4 复合挤压

a—挤压示意图；
b—毛坯与挤压零件

(3) 复合挤压 复合挤压时, 毛坯上一部分金属的流动方向与凸模的运动方向相同, 而另一部分金属的流动方向则相反。图 4 所示为复合挤压工作的情况。用复合挤压的方法, 可以制造各种带有突起的复杂形状的空心工件。

近年来, 冷挤压已发展成为机械制造先进工艺之一, 它的优越性有以下几个方面:

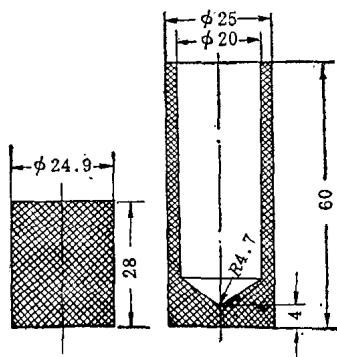


图 5 冷挤压 20Cr 钢汽车
发动机汽门顶杆

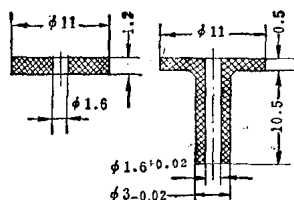


图 6 冷挤压纯铁底座零件
左—毛坯; 右—零件

(1) 节约原材料 由于冷挤压是一种塑性加工工艺, 在不破坏金属的前提下使金属体积作出塑性转移, 以达到少切削无切削而使金属成形的目的, 避免大量金属由于切削加工而变成废屑。图 5 是一个 20Cr 钢的汽车发动机汽门顶杆, 这个零件采用冷挤压新工艺以后, 使原来切削加工一个零件的毛坯可以加工出两个零件。图 6 是通讯器材中的纯铁底座零件, 采用冷挤压新工艺以后, 原来加工一个零件的材料就可以加工出十个零件。

(2) 提高生产率 冷挤压模具比较简单, 操作方便, 容易掌握, 生产率很高。图 6 的纯铁底座由于纯铁性韧, 切削

性能差，切削加工比较困难，经采用冷挤压新工艺以后，不仅节约纯铁原材料 90%，而且生产率比切削加工可提高三十倍之多。

(3) 提高零件的机械性能 切削加工把金属内部纤维割断，从而降低了零件的使用寿命。在冷挤压过程中，金属是处于三向压应力状态，变形后其材料组织致密，又具有连续的纤维流向。冷作硬化现象也使材料的强度和疲劳强度得到提高。例如 20Cr 材料的汽车发动机活塞销采用冷挤压加工，经道路试验（行驶五万公里以上），活塞销仍然完好，目前已采用 20 号钢代替含铬的 20Cr 钢制造活塞销。这样不仅保证了产品的性能要求，更可以节约大量的合金元素及优质材料。

(4) 提高零件的精度及表面光洁度 冷挤压零件的精度可达 3 级，表面光洁度可达 $\nabla 6 \sim \nabla 9$ 。有些零件冷挤压后可以不用切削加工，从而为某些零件用冷挤压工艺代替切削加工、铸造、锻造开辟了一条广阔的道路。

恩格斯说：“运动本身就是矛盾。”冷挤压时，模具要使被挤压的材料变形，而被挤压的材料也有一反作用力施加于模具上以反抗变形。因此，变形与反变形的矛盾也存在于冷挤压工序之中。对于黑色金属冷挤压，变形压力与模具强度之间的矛盾往往是主要的。如以制造一个直径 38 毫米、厚 5.6 毫米、高 100 毫米的低碳钢杯形工件为例，采用拉延方法加工时最后一道拉延工序仅需变形力 17 吨，而采用冷挤压加工则需变形力 132 吨，这时作用在冷挤压凸模上的单位压力达到 23000 个大气压以上。由此可见，冷挤压工艺的技术要求是很高的。

为了有效地解决冷挤压生产问题，必须考虑和解决以下

有关几个问题：

- (1) 选用适合于冷挤压加工的材料；
- (2) 采用正确的、合理的冷挤压工艺方案；
- (3) 选用合理的毛坯软化热处理方案；
- (4) 采用合理的毛坯表面处理方法及选用最理想的润滑剂；
- (5) 设计并制造适合冷挤压特点的模具结构，保证成品达到所要求的质量，同时还应保证模具有较长的工作寿命、较高的生产率和安全；
- (6) 选择合适的冷挤压模具材料及其热加工方法；
- (7) 选择适合于冷挤压工艺特点的机器与设备。

在冷挤压生产中，我们应当注意冷挤压过程中变形与反变形这对矛盾的普遍性。对于黑色金属冷挤压，变形压力与模具强度这对矛盾往往是主要的，如果不抓住这对矛盾，模具就很易损坏或寿命不高；但还应当注意矛盾的转化，例如同样挤压黑色金属，但挤压的是小变形量不对称的零件，这时金属质点流速的差异引起的矛盾就显得更为突出了。对于有色金属的冷挤压，主要矛盾的转化也具有同样的特点。例如，冷挤压纯铝异型零件时，金属质点流速差异的矛盾往往是主要的；而在挤压薄壁黄铜件时，变形压力与模具强度的矛盾就显得更为突出。因此，在冷挤压过程中，要注意分析冷挤压变形中的矛盾，用不同质的方法去解决不同质的矛盾。

二 目前冷挤压所用的金属材料

冷挤压所用材料的具体要求有以下三个方面：

- (1) 金属材料的机械强度越低，冷挤压的变形抗力越

小，越容易进行冷挤压。

(2) 冷挤压时金属虽然处于三向压应力状态，但是由于附加应力的存在，在冷挤压低塑性金属时，往往容易产生裂纹（见图7），因此对冷挤压的金属材料的塑性仍有一定的要求。



图7 冷挤压低塑性金属材料时产生的裂纹

(3) 冷挤压材料的冷作硬化敏感性能越低，冷挤压压力的升高就比较平稳，挤压性能就越好。

以前只有铅、锡一类软金属才能进行冷挤压，近年来随着冷挤压技术的发展，目前可供冷挤压的金属材料有所增多，如：

- (1) 纯铝 (L1、L2、L3、L4、L5 等)；
- (2) 铝合金 (LF2、LF5、LF21、LY11、LY12、LY13 等)；
- (3) 紫铜与无氧铜 (T1、T2、T3、Tu1、Tu2 等)；
- (4) 黄铜 (H62、H68、H80 等)；
- (5) 锡磷青铜 (QSn6.5—0.15 等)；

(6) 镍 (Ni—1、Ni—2 等);

(7) 锌与锌镉合金;

(8) 纯铁;

(9) 碳素钢(A1、A2、B1、B2、08、10、15、20、25、30、40、45、50 等);

(10) 低合金 钢 (15 Cr、20 Cr、20 MnB、16 Mn、30 CrMnSiA 等);

(11) 不锈钢 (1Cr13、2Cr13、1Cr18Ni9Ti等)。

此外, 对于钛与某些钛合金、钼、锆以及可伐合金、坡莫合金都可进行冷挤压加工, 甚至对轴承钢GCr9、GCr15 与高速钢 W6Mo5Cr4V2 也可以进行一定变形量的冷挤压加工。

为了降低冷挤压的变形抗力, 在冷挤压前应对毛坯进行软化热处理。各种常用冷挤压材料的软化热处理规范可见表 1。

表 1 常用冷挤压材料的软化热处理规范

序号	冷挤压毛坯材料	热处理	规 范	处理前 硬 度 (H _B)	处理后 硬 度 (H _B)	附 注
1	纯铝 (L1、L2、L3、L4、L5)	退火	420°C, 保温 2~4 小时, 随炉冷却	—	15~19	
2	铝镁合金 LF2	退火	390~400°C, 5 小时随炉冷却	—	38~39	
3	硬铝 LY12	退火	400~420°C, 保温 4 小时, 随炉冷却到 150°C	105	55~60	
4	硬铝 LY11	退火	410~420°C, 保温 4 小时, 随炉冷却到 150°C		53.5~55	

(续)

序号	冷挤压毛坯材料	热处理	规 范	处理前 硬度 (HB)	处理后 硬度 (HB)	附 注
5	锻铝LD5	退火	$420 \pm 10^{\circ}\text{C}$, 保温 6小时, 随炉冷却到 150°C		50~51	
6	紫铜T1~T4无氧 铜	退火	$710 \sim 720^{\circ}\text{C}$, 保温 4小时, 随炉冷却	110	38~42	也可采用 淬火软化 (水淬软化)
7	黄铜H62	退火	$670 \sim 680^{\circ}\text{C}$, 保温 5小时, 随炉冷却	150	50~55	也可用 $700 \sim 750^{\circ}\text{C}$ 水淬
8	黄铜H68	退火	$600 \sim 670^{\circ}\text{C}$, 保温 4小时, 随炉冷却		45~55	也可用 $700 \pm 10^{\circ}\text{C}$ 水淬
9	碳素钢10、15、20、 30、40、45	退火	$720 \pm 10^{\circ}\text{C}$, 保温 3小时, 随炉冷却		107 ~162	10号钢: 107~118 15号钢: 109~121 20号钢: 121~131 30号钢: 138~145 45号钢: 154~162
10	碳素钢A2、B2	长时间 退火	$920 \sim 960^{\circ}\text{C}$, 保温 8小时, 随炉冷至 680°C , 再升温到 960°C , 保温4小时, 再炉冷到 250°C , 出 炉		100 ~110	时间较 长, 需要五 昼夜, 但热 处理以后毛 坯硬度较低。
11	纯铁DT1	退火	$900 \pm 10^{\circ}\text{C}$, 保温 3小时, 随炉冷却		60~80	
12	奥氏体不锈钢 1Cr18Ni9Ti	淬火	1150°C , 保温5分 钟, 用 100°C 的沸水 淬软		130	冰盐水淬 的效果不及 沸水淬

三 冷挤压的变形程度

1. 表示冷挤压变形程度的方法

冷挤压的变形程度越大，则冷挤压的变形抗力也越大。当冷挤压的单位挤压力超过模具强度所容许的压力时，就会引起模具的损坏（图 8）。为了保证模具的强度与工作寿命，对于各种不同的挤压材料，应选择合适的变形程度。冷挤压的变形程度一般都用“断面缩减率” ε_r 来表示：

$$\varepsilon_r = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中 ε_r ——冷挤压的断面缩减率（%），

F_0 ——冷挤压变形前毛坯的横截面积（毫米²），

F_1 ——冷挤压变形后工件的横截面积（毫米²）。

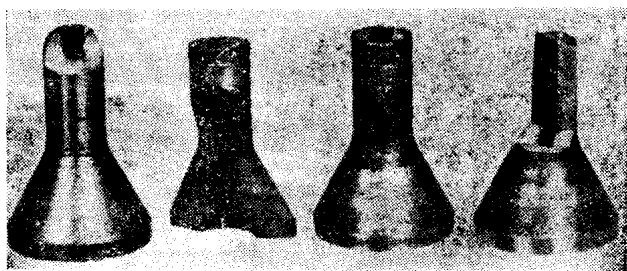


图 8 由于冷挤压变形度过大引致模具的碎裂

（1）正挤压实心件的断面缩减率（图 9）

$$F_0 = \frac{\pi}{4} d_0^2$$

$$F_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2$$

将 F_0 、 F_1 代入 e_r 式, 可得正挤压实心件的断面缩减率:

$$e_r = \frac{d_0^2 - d_1^2}{d_0^2} \times 100\%$$

(其中 d_0 与 d_1 的意义见图 9)。

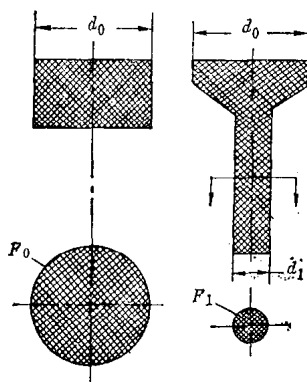


图 9 正挤压实心件变形程度的计算

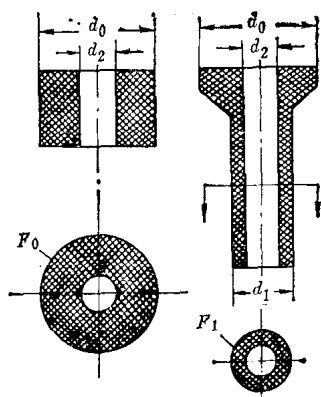


图 10 正挤压空心件变形程度的计算

(2) 正挤压空心件的断面缩减率 (图 10)

$$F_0 = \frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_2^2)$$

$$F_1 = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2)$$

(其中 d_0 、 d_1 、 d_2 的意义示如图 10)。

将 F_0 与 F_1 的数值代入 e_r 式, 可得正挤压空心件的断面缩减率:

$$e_r = \frac{d_0^2 - d_1^2}{d_0^2 - d_2^2} \times 100\%$$

(3) 反挤压的断面缩减率 (图 11)

$$F_0 = \frac{\pi}{4} d_0^2$$

$$F_1 = \frac{\pi}{4}(d_0^2 - d_1^2)$$

(其中 d_0 与 d_1 的意义示如图 11)。

将 F_0 与 F_1 的数值代入 ε_r 式, 可得反挤压的断面缩减率:

$$\begin{aligned}\varepsilon_r &= \frac{d_0^2 - (d_0^2 - d_1^2)}{d_0^2} \\ &= \frac{d_1^2}{d_0^2} \times 100\%\end{aligned}$$

2. 许用变形程度

当冷挤压模具单位面积上承受的压力超过模具材料的许用应力 (目前模具钢的许用应力为 $250 \sim 300$ 公斤/毫米²), 模具就容易损坏或寿命不长。因此对于各种材料来说, 有一个许用的变形程度, 在工艺上应尽量使每道冷挤压工序的变形程度小于此一数值。

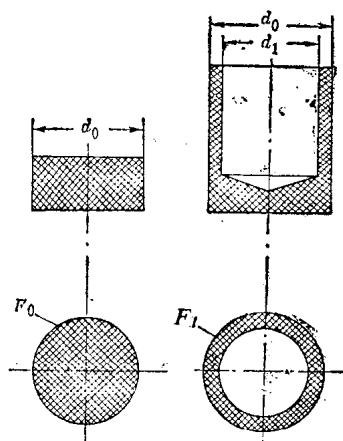


图11 反挤压变形程度的计算

冷挤压许用变形程度的数值决定于:

(1) 被挤压材料的机械性能: 被挤压材料越硬, 许用变形程度就越小。

(2) 冷挤压变形的的方式: 正挤压的压力小于反挤压的压力, 所以反挤压的许用变形程度小于正挤压。

(3) 冷挤压的润滑条件越好, 许用变形程度就越大。

(4) 冷挤压模具的工作部分几何形状越合理, 金属流动越顺利, 许用的变形程度就越大。

在一般生产条件下, 所用的润滑条件与模具工作部分形状都是最理想的条件, 因此许用变形程度的数值主要决定于

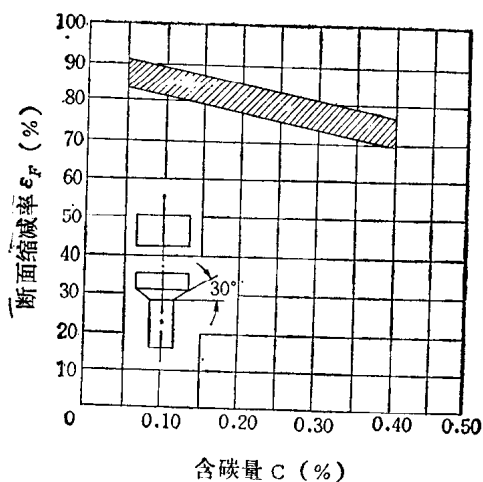


图12 碳钢含碳量对正挤压实心件许用变形程度的影响

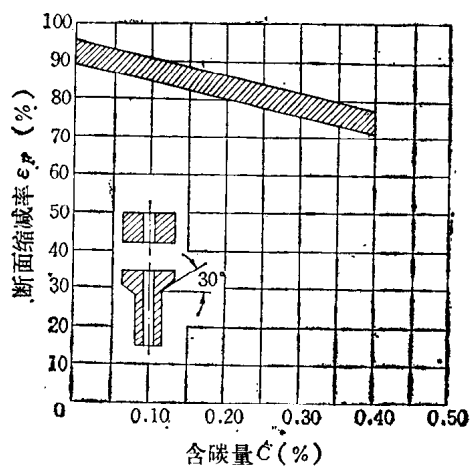


图13 碳钢含碳量对正挤压空心件许用变形程度的影响

被挤压材料的性能与变形方式两个因素。

对于碳素钢，正挤压与反挤压的许用变形程度可见图 12 至图 14 的斜线所示。碳钢的含碳量越高，变形抗力越大，许用的变形程度越小。图 12 至图 14 的斜线是根据国内外冷挤压生产斗争与科学实验的实践经过分析计算所得出，可供生产参考。斜线以下的是许用范围，斜线以上的目前尚未使用，为“待发展区域”，中间为过渡区域。

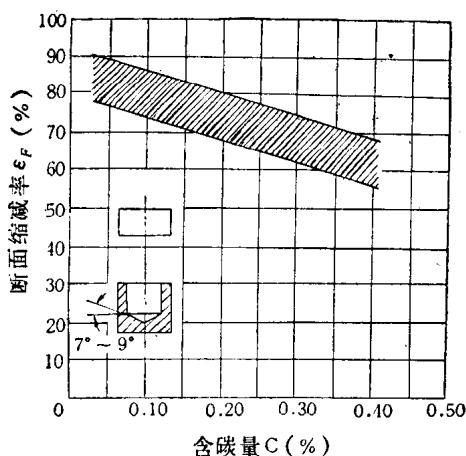


图14 碳钢含碳量对反挤压许用变形程度的影响

对于有色金属，许用变形程度的数值可见表 2。

应当指出，随着冷挤压工艺的发展，将可以不断提高许用变形程度。

表 2 有色金属一次挤压的许用变形程度

金属材料	断面缩减率 ϵ_F (%)		附 注
锌、铝、无氧铜等	正 挤 压	95~99	低强度的金属取上限； 高强度的金属取下限。
	反 挤 压	90~99	
紫铜、黄铜、硬铝、镁	正 挤 压	90~95	
	反 挤 压	75~90	

四 冷挤压压力

冷挤压的特点是变形压力大。如果冷挤压变形时作用在模具单位面积上的压力（简称“单位挤压力”）超过了 $250 \sim 300$ 公斤/毫米²，模具就很容易磨损或损坏。因此，冷挤压压力的决定具有两方面的意义：

（1）决定具体零件冷挤压时各道工序的单位挤压力，考核这一单位挤压力是否超过了目前模具钢所能承受的载荷。如果已超过了许用负荷，就应当采取具体措施——或则增加变形工序次数使每次工序的变形程度减小，或则选用较软的代用材料进行挤压，或则改变工具形状使金属易于流动，从而降低单位挤压力。

（2）决定冷挤压工艺所需的压力机吨位。

在挤压过程中影响冷挤压单位挤压力的主要因素有：被挤压材料的机械性能、变形程度、变形方式、模具几何形状、毛坯形状、润滑条件等几方面。

对于碳素钢，冷挤压的单位压力 p 可按图 15、16、17 的图算曲线上查得，计算表中已考虑了上列的各个因素。对于钢的冷挤压，只要表面处理方法的类型相同，则润滑配方对挤压力的影响就不很大，在计算时可忽略不计。图算表的应用方法已于图上用箭头表示，现分别举例说明如下：

（1）正挤压实心件的图算法（图 15）

例

已知条件：

毛坯直径（或凸模直径） $d_0 = 75$ 毫米

挤压后直径 $d_1 = 45$ 毫米

毛坯长度

 $h_0 = 110$ 毫米

凹模导入角

 $\alpha = 90^\circ$

材料

纯铁

求解步骤:

从①找到相应的 d_0 及 d_1 值, 向上直接求得断面缩减率 $\varepsilon_r = 64\%$ 。由 $\varepsilon_r = 64\%$ 向上投影到②, 与相应的材料曲线(纯铁)相交, 就可在纵坐标上读得 $h_0/d_0 = 1$ 及 $\alpha = 60^\circ$ 时的单位挤压力 $p' = 85$ 公斤/毫米² (p' 是未经修正的单位挤压力)。

考虑到 $h_0/d_0 = 1.5$, $\alpha = 90^\circ$, 因此上述单位挤压力需要修正, 于是将 $p' = 85$ 投影到③中相应的曲线上, 就可得到修正后的单位挤压力 $p = 105$ 公斤/毫米²。

将 $p = 105$ 公斤/毫米² 一点投影到④中, 与 d_0 在④中的投影相交, 即可求得挤压力 $p = 460$ 吨。

(2) 正挤压空心件的图算法

例

已知条件:

毛坯直径(或凸模直径)

 $d_0 = 95$ 毫米

挤压后零件外径

 $d_1 = 85$ 毫米

挤压后零件内径

 $d_2 = 80$ 毫米

毛坯长度

 $h_0 = 50$ 毫米

凹模导入角

 $\alpha = 120^\circ$

材料

纯铁

求解步骤:

先算出变形前的毛坯横截面积:

$$F_0 = \frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_2^2) = 2060 \text{ 毫米}^2$$